

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-281123

(43)Date of publication of application : 16.11.1990

(51)Int.Cl.

G01M 11/02

(21)Application number : 01-104030

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 24.04.1989

(72)Inventor : TAKADA KAZUMASA
KOBAYASHI MASARU
NODA JUICHI
TAKATO NORIO

(54) METHOD AND APPARATUS FOR MEASURING LIGHT SPLITTING RATIO

(57)Abstract:

PURPOSE: To measure a splitting ratio accurately by measuring the amplitude or the intensity of a beat component based on frequency modulation or phase modulation in interference light, computing the intensity of light propagating in each light path, and obtaining the ratio.

CONSTITUTION: The light which is emitted from a light source 16 is inputted into an optical coupler 22 through an optical fiber 17 and split into two parts. One is sent into a lightguide 24 through an optical fiber 18. In the lightguide 24, the incident light is split. The light is expanded and contracted in the longitudinal direction with the periodic heat of a heater. After phase modulation is applied, the waves are synthesized and split. One is sent into an optical coupler 23 through an optical fiber 20. The other light which is split into two parts in the optical coupler 22 is periodically expanded and contracted with an oscillator 25 through an optical fiber 19. Phase modulation is applied. The light is sent

into the optical coupler 23. The light beams propagated through the optical fibers 19 and 20 are synthesized in the optical coupler 23 and interference light is obtained. The light is received with a photodetector 27 through an optical fiber 21. The spectrum of the output is measured with a spectrum analyzer 28.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平2-281123

⑬ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成2年(1990)11月16日

G 01 M 11/02

K

7529-2G

審査請求 未請求 請求項の数 6 (全 11 頁)

⑮ 発明の名称 光分岐比測定方法及びその装置

⑯ 特 願 平1-104030

⑰ 出 願 平1(1989)4月24日

⑱ 発 明 者 高 田 和 正 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑲ 発 明 者 小 林 勝 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑳ 発 明 者 野 田 壽 一 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

㉑ 発 明 者 高 戸 範 夫 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

㉒ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉓ 代 理 人 弁理士 吉田 精孝

明 細 書

1. 発明の名称

光分岐比測定方法及びその装置

2. 特許請求の範囲

(1) 光導波路内の光分岐部における分岐比を測定する光分岐比測定方法において、

コヒーレントな光を光導波路の一端より入射し、

該光導波路の光分岐部によって分岐された複数の光路を伝搬する光にそれぞれ異なる周波数で周波数変調あるいは位相変調を加え、

前記光導波路の他端より出射する光と、前記コヒーレントな光の一部又はこれに前記とさらに異なる周波数で周波数変調あるいは位相変調を加えた光とを干渉させ、

該干渉光中の前記周波数変調あるいは位相変調に基づくビート成分の振幅もしくは強度をそれぞれ測定し、

これらより前記各光路を伝搬する光の強度を算出し、さらにこれらの比をとることにより光分岐部の分岐比を求めるようにした

ことを特徴とする光分岐比測定方法。

(2) 光導波路内の光分岐部における分岐比を測定する光分岐比測定装置において、

コヒーレントな光を発生する光源と、

該光源よりの光を二分し、その一方を光導波路内を伝搬させた後、再び合波して干渉させる光学系と、

光導波路内の光分岐部によって分岐された複数の光路を伝搬する光にそれぞれ異なる周波数で周波数変調あるいは位相変調を加える複数の光変調手段と、

前記光学系より出射される干渉光を受光し、該干渉光中の前記周波数変調あるいは位相変調に基づくビート成分の振幅もしくは強度を測定する測定手段とを備え、

前記測定したビート成分の振幅もしくは強度より前記各光路を伝搬する光の強度を算出し、さらにこれらの比をとることにより光分岐部の分岐比を求めるようにした

ことを特徴とする光分岐比測定装置。

(3) 光学系で二分された光の他方にさらに異なる周波数で周波数変調あるいは位相変調を加える光変調手段を備えたことを特徴とする請求項(2)記載の光分岐比測定装置。

(4) 位相変調を加える光変調手段として、交流駆動可能なヒータを光導波路に密着させて取付けたことを特徴とする請求項(2)又は(3)記載の光分岐比測定装置。

(5) 位相変調を加える光変調手段として、それぞれが独立して交流駆動可能な多数のヒータをマトリクス状に配置したヒータ装置を光導波路に密着させて取付けたことを特徴とする請求項(2)又は(3)記載の光分岐比測定装置。

(6) ヒータ又はヒータ装置を熱伝導性の良好な液体を介して光導波路に取付けたことを特徴とする請求項(4)又は(5)記載の光分岐比測定装置。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、光導波路内の光分岐部における分岐比を測定する光分岐比測定方法及びその装置に関

するものである。

(従来の技術)

第2図(a)(b)(c)は従来の光分岐比測定方法を示すもので、それぞれ被測定光導波路が直線の場合、 2×2 のポートを有し且つ1個の光分岐部を有する場合、 2×2 のポートを有し且つ2個の光分岐部を有する場合を示す。

第2図(a)において、ファイバビグテール1より光導波路2の光路(コア)2aに入射した光はどこへも分岐されることなくファイバビグテール3に出射されるため、その出射光の強度を測定することによりその伝搬光の強度が求められる。

また、第2図(b)において、ファイバビグテール1より光導波路4の光路4aに入射した光は光分岐部4bで分岐され光路4c及び4dを伝搬し出射される。このため、ファイバビグテール3を光路4c及び4dにそれぞれ結合させてその出射光の強度を測定し、さらにその比をとると光分岐部4bの分岐比が求められる。

また、第2図(c)において、ファイバビグテ-

- 3 -

ル1より光導波路5の光路5aに入射した光は光分岐部5bで分岐され光路5c及び5dを伝搬し、さらにこれらの光は光分岐部5eで合波されて再び分岐され光路5f及び5gを伝搬し出射される。このため、ファイバビグテール3を光路5f及び5gにそれぞれ結合させてその出射光の強度を測定した場合、光路5a→5c→5fを伝搬した光及び光路5a→5d→5fを伝搬した光の合波光の強度と、光路5a→5c→5gを伝搬した光及び光路5a→5d→5gを伝搬した光の合波光の強度とが測定される。従って、各光路を伝搬する光の強度を測定することはできず、光分岐部の分岐比を測定することはできなかった。

第3図は前述した問題点の一部を解決した従来の他の光分岐比測定方法を示すもので、図中、6は光源、7、8はハーフミラー、9、10はレンズ、11は被測定光導波路、12、13はミラー、14はプリズム、15は光検出器である。

光源6より射出されたスペクトル幅の広いインコヒーレントな光はハーフミラー7で2分され、

- 4 -

その一方はレンズ9を介して光導波路11の光路11aに入射する。該入射光は光分岐部11bで分岐され、長さの異なる光路11c及び11dを伝搬し、さらに光分岐部11e、光路11fを伝搬して出射され、レンズ10を介して信号光としてハーフミラー8に入射する。一方、ハーフミラー7で2分された他方の光はミラー12、13及びプリズム14を介して参照光としてハーフミラー8に入射するが、プリズム14は矢印A方向に移動可能となっており、該プリズム14の移動に伴ってその光路長は変化する。インコヒーレントな光では可干渉距離が非常に短いため、信号光のうちで参照光と干渉するのはその光路長が参照光と可干渉距離内で一致したものだけである。従って、光導波路11のように光路11cの長さが光路11dに比べて可干渉距離よりも充分長い場合、光路11a→11c→11fを伝搬した光と、光路11a→11d→11fを伝搬した光はプリズム14の移動に伴って参照光と別々に干渉することになる。而して、それぞれの干渉のピーク値よ

- 5 -

- 6 -

り前記各光路を伝搬した光の強度を求めることができ、さらにこれより光分岐部の分岐比を求めることができる。

(発明が解決しようとする課題)

しかしながら、前述した方法では第2図(c)に示したような光分岐部間の光路の長さが等しい光導波路の場合、各光路を伝搬した光を別々に干渉させることができず、従って、その強度も別々に測定することができず、分岐比を求めることができないという問題点があった。

本発明は前記問題点を解決し、光分岐部間の各光路の長さが等しい光導波路における分岐比を正確に測定する方法及びその装置を提供することを目的とする。

(課題を解決するための手段)

本発明では前記目的を達成するため、光導波路内の光分岐部における分岐比を測定する光分岐比測定方法において、コヒーレントな光を光導波路の一端より入射し、該光導波路の光分岐部によって分岐された複数の光路を伝搬する光にそれぞれ

異なる周波数で周波数変調あるいは位相変調を加え、前記光導波路の他端より出射する光と、前記コヒーレントな光の一部又はこれに前記とさらに異なる周波数で周波数変調あるいは位相変調を加えた光とを干渉させ、該干渉光中の前記周波数変調あるいは位相変調に基づくビート成分の振幅もしくは強度をそれぞれ測定し、これらより前記各光路を伝搬する光の強度を算出し、さらにこれらの比をとることにより光分岐部の分岐比を求めるようにした光分岐比測定方法と、光導波路内の光分岐部における分岐比を測定する光分岐比測定装置において、コヒーレントな光を発生する光源と、該光源よりの光を二分し、その一方を光導波路内を伝搬させた後、再び合波して干渉させる光学系と、光導波路内の光分岐部によって分岐された複数の光路を伝搬する光にそれぞれ異なる周波数で周波数変調あるいは位相変調を加える複数の光変調手段と、前記光学系より出射される干渉光を受光し、該干渉光中の前記周波数変調あるいは位相変調に基づくビート成分の振幅もしくは強度

- 7 -

を測定する測定手段とを備え、前記測定したビート成分の振幅もしくは強度より前記各光路を伝搬する光の強度を算出し、さらにこれらの比をとることにより光分岐部の分岐比を求めるようにした第1の光分岐比測定装置と、第1の装置において光学系で二分された光の他方にさらに異なる周波数で周波数変調あるいは位相変調を加える光変調手段を備えた第2の光分岐比測定装置と、第1又は第2の装置において位相変調を加える光変調手段として、交流駆動可能なヒータを光導波路に密着させて取付けた第3の光分岐比測定装置と、第1又は第2の装置において位相変調を加える光変調手段として、それぞれが独立して交流駆動可能な多数のヒータをマトリクス状に配置したヒータ装置を光導波路に密着させて取付けた第4の光分岐比測定装置と、第3又は第4の装置においてヒータ又はヒータ装置を熱伝導性の良好な液体を介して光導波路に取付けた第5の光分岐比測定装置とを提案する。

(作 用)

- 8 -

本発明方法によれば、光導波路の一端より入射されたコヒーレントな光は光分岐部によって分岐された複数の光路を伝搬する際に異なる周波数で周波数変調あるいは位相変調される。該変調を受けた光は変調前の光の一部又はこれを前記とさらに異なる周波数で周波数変調あるいは位相変調した光と干渉させられるが、この際、前記変調に基づくビート成分が発生する。該ビート成分の振幅もしくは強度が測定され、これらにより各光路を伝搬する光の強度が算出されて、さらにこれらの比をとることにより光分岐部の分岐比が求められる。

また、本発明の第1の装置によれば、光源より発生したコヒーレントな光は光学系により二分され、その一方は光導波路を伝搬させられるが、この際、複数の光変調手段により光分岐部によって分岐された複数の光路を伝搬する光毎にそれぞれ異なる周波数で周波数変調あるいは位相変調が加えられる。該変調が加えられた光は光学系により前記二分された他方の光と合波され干渉させられ

- 9 -

- 10 -

るが、その際、前記変調に基づいて発生するビート成分の振幅もしくは強度が測定手段により測定される。さらに該測定結果から各光路を伝搬する光の強度が算出され、これらの比がとられて光分岐部の分岐比が求められる。

また、本発明の第2の装置によれば、光変調手段により光学系で二分された光の他方にさらに異なる周波数で周波数変調あるいは位相変調が加えられるが、これによってビート成分の検出周波数が高くなる。

また、本発明の第3の装置によれば、ヒータより発生される熱によって光導波路の光路が伸縮され、その伝搬光に位相変調が加えられる。

また、本発明の第4の装置によれば、ヒータ装置の多数のヒータのうちの任意のヒータより発生される熱によって光導波路の各光路が伸縮され、その伝搬光に位相変調が加えられる。

また、本発明の第5の装置によれば、ヒータ又はヒータ装置より発生された熱は熱伝導性の良好な液体を介して光導波路に伝達される。

— 11 —

れる。

振動子25は円筒形をなした電圧振動子であり、その周面には光ファイバ19が固着されている。該振動子25は交流信号源26より供給される周波数 f 、ここでは10kHzの交流信号によって駆動される。

以下、前記装置の動作とこれによって光分岐比が測定される原理について説明する。

光源16より射出された光は光ファイバ17を通して光カプラ22に入射し二分されるが、その一方は光ファイバ18を介して光導波路24に送出される。

光導波路24において、光ファイバ18より光路24aに入射した光は光分岐部24eで分岐され光路24b及び24cを伝搬する。この際、光路24b及び24cはヒータ29及び30より発生される周期的な熱により長手方向に周期的に伸縮するため、その伝搬光に対して位相変調が加えられる。該変調された光は光分岐部24fで合波されて再び分岐され、その一方が光路24dを伝

(実施例)

第1図は本発明の光分岐比測定方法の一実施例を示すもので、図中、16は光源、17, 18, 19, 20, 21は光ファイバ、22, 23は光カプラ、24は被測定光導波路、25は振動子、26は交流信号源、27は光検出器、28はスペクトラムアナライザである。

光源16はスペクトル幅200MHz、波長1.8 μ mの半導体レーザである。光カプラ22, 23は3dB光ファイバスターカプラである。

光導波路24は第4図に示すように2×2のポートを有し且つ2個の光分岐部を有するガラス導波路である。同図において、24a, 24b, 24c, 24dは光路(コア)、24e, 24fは光分岐部であり、光路24b及び24cには交流駆動可能なヒータ29及び30がそれぞれ第5図に示すように密着して取付けられている。該ヒータ29及び30はそれぞれ周波数 f_1 及び f_2 、ここでは100Hz及び210Hzの交流信号を発生する交流信号源31及び32によって駆動さ

— 12 —

搬して光ファイバ20に出射され、光カプラ23に送出される。

光カプラ22にて二分された光の他方は光ファイバ19を伝搬して光カプラ23に送出されるが、この際、光ファイバ19は振動子25により周期的に伸縮させられるため、その伝搬光に対して位相変調が加えられる。

光ファイバ19及び20を伝搬した光は光カプラ23にて合波され干渉光となり、光ファイバ21を介して光検出器27に受光され、その出力のスペクトルがスペクトラムアナライザ28にて測定される。

前記光導波路24の光路24a→24b→24dを伝搬した光及び光路24a→24c→24dを伝搬した光の電場振幅はそれぞれ下記のようになる。

$$E_1 = E_0 \alpha_1 \beta_2 \exp(j\phi_1 \sin 2\pi f_1 t_1 + j\phi_2) \quad \dots (1)$$

$$E_2 = E_0 \beta_1 \alpha_2 \exp(j\phi_2 \sin 2\pi f_2 t_2 + j\phi_1) \quad \dots (2)$$

— 13 —

— 14 —

ここで、 E_0 は導波路 24 への入射光の電場振幅、 α_1 及び β_1 は光分岐部 24 e における光路 24 a から光路 24 b への結合係数及び光路 24 a から光路 24 c への結合係数、 α_2 及び β_2 は光分岐部 24 f における光路 24 c から光路 24 d への結合係数及び光路 24 b から光路 24 d への結合係数、 ϕ_1 及び ϕ_2 はヒーク 29 及び 30 によって加えられる位相変調の変調度、 ϕ_1 、 ϕ_2 は位相角である。また、 $t_1 = t + \varepsilon_1$ 、 $t_2 = t + \varepsilon_2$ であり、 t は時間、 ε_1 、 ε_2 は定数である。

一方、光ファイバ 19 を伝搬した光の電場振幅は下記のようなになる。

$$E = \gamma E_0 \exp(j\phi \sin 2\pi f t) \dots (8)$$

ここで、 γ は定数、 ϕ は振動子 25 によって加えられる位相変調の変調度である。

従って、光カプラ 23 で合波された光の強度は下記のようなになる。

$$\begin{aligned} |E + E_1 + E_2|^2 \\ = |\gamma E_0 \exp(j\phi \sin 2\pi f t)|^2 \end{aligned}$$

— 15 —

($m = 1, 3$) 成分 $P_1^m(t)$ 及び $P_3^m(t)$ は下記のようなになる。

$$\begin{aligned} P_1^1(t) \\ = -4\gamma |E_0|^2 \alpha_1 \beta_2 J_1(\phi) \\ J_1(\phi_1) \cos \phi_1 \cos[2\pi(f+f_1)t + 2\pi\varepsilon_1] \dots (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3^1(t) \\ = -4\gamma |E_0|^2 \alpha_1 \beta_2 J_1(\phi) \\ J_3(\phi_1) \cos \phi_1 \cos[2\pi(f+3f_1)t + 2\pi \cdot 3\varepsilon_1] \dots (8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1^2(t) \\ = -4\gamma |E_0|^2 \beta_1 \alpha_2 J_1(\phi) \\ J_1(\phi_2) \cos \phi_2 \cos[2\pi(f+f_2)t + 2\pi\varepsilon_2] \dots (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3^2(t) \\ = -4\gamma |E_0|^2 \beta_1 \alpha_2 J_1(\phi) \\ J_3(\phi_2) \cos \phi_2 \cos[2\pi(f+3f_2)t + 2\pi \cdot 3\varepsilon_2] \dots (10) \end{aligned}$$

このため、(7) ~ (10) 式の各交流成分の振幅は下記のようなになる。

— 17 —

$$\begin{aligned} + E_0 \alpha_1 \beta_2 \exp(j\phi_1 \sin 2\pi f_1 t_1 + j\phi_1) + E_0 \beta_1 \alpha_2 \exp \\ (j\phi_2 \sin 2\pi f_2 t_2 + j\phi_2) |^2 \dots (4) \end{aligned}$$

ここで、 $f_1 \neq f_2$ に注目すれば、光路 24 a \rightarrow 24 b \rightarrow 24 d の伝搬光と光ファイバ 19 の伝搬光（以下、これを参照光と称す。）とのビート成分及び光路 24 a \rightarrow 24 c \rightarrow 24 d の伝搬光と参照光とのビート成分はそれぞれ独立に抽出可能であり、これらは下記のようなになる。

$$\begin{aligned} P_1^1 = \gamma |E_0|^2 \alpha_1 \beta_2 \exp(j\phi \\ \sin 2\pi f t - j\phi_1 \sin 2\pi f_1 t_1 \\ - j\phi_1) + c.c. \dots (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3^1 = \gamma |E_0|^2 \beta_1 \alpha_2 \exp(j\phi \\ \sin 2\pi f t - j\phi_2 \sin 2\pi f_2 t_2 \\ - j\phi_2) + c.c. \dots (6) \end{aligned}$$

ベッセルの公式 $e^{j\phi \sin 2\pi f t} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\phi) e^{jn 2\pi f t}$ (但し、 $J_n(\phi)$ は n 次のベッセル関数) を用いれば、周波数 $f + n f_1$ ($n = 1, 3$) 成分 $P_1^1(t)$ 及び $P_3^1(t)$ 、並びに周波数 $f + m f_2$

— 16 —

$$\begin{aligned} P_1^1 = 4\gamma |E_0|^2 \alpha_1 \beta_2 \\ J_1(\phi) J_1(\phi_1) \cos \phi_1 \dots (7)' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3^1 = 4\gamma |E_0|^2 \alpha_1 \beta_2 \\ J_3(\phi) J_3(\phi_1) \cos \phi_1 \dots (8)' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1^2 = 4\gamma |E_0|^2 \beta_1 \alpha_2 \\ J_1(\phi) J_1(\phi_2) \cos \phi_2 \dots (9)' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3^2 = 4\gamma |E_0|^2 \beta_1 \alpha_2 \\ J_3(\phi) J_3(\phi_2) \cos \phi_2 \dots (10)' \end{aligned}$$

前記 (9)' 式を (7)' 式で割ると、

$$\begin{aligned} P_3^2 / P_1^2 = \beta_1 \alpha_2 J_3(\phi_2) \\ / \alpha_1 \beta_2 J_1(\phi_1) \dots (11) \end{aligned}$$

となり、さらにこれを整理すると、

$$\begin{aligned} \beta_1 \alpha_2 / \alpha_1 \beta_2 \\ = (P_3^2 / P_1^2) \cdot (J_1(\phi_1) / J_3(\phi_2)) \dots (12) \end{aligned}$$

となる。また、(8)' 式を (7)' 式で割ると、

$$P_3^1 / P_1^1 = J_3(\phi_1) / J_1(\phi_1) \dots (13)$$

となり、また、(10)' 式を (9)' 式で割ると、

$$P_3^2 / P_1^2 = J_3(\phi_2) / J_1(\phi_2) \dots (14)$$

となる。

— 18 —

従って、交流成分 P_1 , P_2 , P_3 , P_4 の実測値及び(13)式及び(14)式から変調度 ϕ_1 , ϕ_2 を求め、これを(12)式に代入することにより、分岐比 β , α_2 / α_1 , β_2 が求められる。

第6図は干渉光のスペクトルの実測結果の一例を示すもので、縦軸は任意目盛の振幅値を示し、また、横軸は周波数を示す。グラフでは周波数 f_1 , f_2 , $3f_1$, $3f_2$ 成分のみの値を示しているが、各値「1.5」, 「1.8」, 「1.18」, 「0.81」及び(13), (14)式より、変調度 ϕ_1 及び ϕ_2 はそれぞれ「1.3」及び「1.0」となり、(12)式より分岐比 β , α_2 / α_1 , $\beta_2 = 0.7$ となる。従って、光強度としての分岐比 $(\beta, \alpha_2 / \alpha_1, \beta_2)^2 = 0.49$ となる。

前記実施例では参照光に位相変調を加えてキャリア周波数 f を持たせた。これは被測定光導波路へ印加し得る位相変調周波数の上限が 1 kHz 程度であり、低周波雑音の影響による S/N 比の劣化を抑えるためにキャリア周波数を 10 kHz 以上として信号検波周波数を高くするためである。

- 19 -

$$- j\phi_1 \sin 2\pi f_1 t_1 - \phi_1) + \text{c.c.} \quad \dots (5)$$

$$P^2 = \gamma |E_0|^2 \beta, \alpha_2 \exp(2\pi j f t - j\phi_2 \sin 2\pi f_2 t_2 - \phi_2) + \text{c.c.} \quad \dots (6)$$

さらにベッセルの公式を用いた各交流成分は下記のようになる。

$$P_1^{(1)} = -2\gamma |E_0|^2 \alpha_1 \beta_2 J_1(\phi_1) \cos\{2\pi(f+f_1)t + 2\pi f_1 t_1\} \quad \dots (7)$$

$$P_2^{(1)} = -2\gamma |E_0|^2 \alpha_1 \beta_2 J_1(\phi_1) \cos\{2\pi(f+3f_1)t + 2\pi \cdot 3f_1 t_1\} \quad \dots (8)$$

$$P_3^{(1)} = -2\gamma |E_0|^2 \beta_1 \alpha_2 J_1(\phi_2) \cos\{2\pi(f+f_2)t + 2\pi f_2 t_2\} \quad \dots (9)$$

$$P_4^{(1)} = -2\gamma |E_0|^2 \beta_1 \alpha_2 J_1(\phi_2) \cos\{2\pi(f+3f_2)t + 2\pi \cdot 3f_2 t_2\} \quad \dots (10)$$

従って、前記(7)~(10)式は参照光に周波数

しかしながら、 $f=0$ としても(12)式は同様に成立することから、参照光に変調を加えなくても同様に分岐比を測定することができる。

また、前記実施例において、参照光に周波数変調を加えるため、振動子25の代わりに音響光学周波数シフタを用いても良い。該シフタは超音波ブラッグ回折を用いて周波数を一定量(通常、 50 MHz)シフトする素子である。ここで、シフト量を f (Hz) とすると、参照光の電場振幅は下記のようになる。

$$E = \gamma E_0 \exp(2\pi j f t) \quad \dots (8)$$

従って、合波光の強度は下記のようになる。

$$|E + E_1 + E_2|^2 = |\gamma E_0 \exp(2\pi j f t) + E_0 \alpha_1 \beta_2 \exp(j\phi_1 \sin 2\pi f_1 t_1 + \phi_1) + E_0 \beta_1 \alpha_2 \exp(j\phi_2 \sin 2\pi f_2 t_2 + \phi_2)|^2 \quad \dots (4)$$

同様に各ビート成分は下記のようになる。

$$P^1 = \gamma |E_0|^2 \alpha_1 \beta_2 \exp(2\pi j f t)$$

- 20 -

変調を加える方式(ヘテロダイン方式)に対しても成り立つことがわかる。

前述した位相変調を加える方式では(7)~(10)式中に位相因子 $\cos \phi_1$, $\cos \phi_2$ があり、これが温度等の外乱により変動し、信号に歪を与えてしまうが、ヘテロダイン方式では(7)~(10)式から分るように位相因子がなく、従って、より安定した分岐比の測定が可能となる。

第7図は表面に凹凸を有する導波路に対するヒータの取付け方法を示すもので、ここでは光導波路33とヒータ34との間に熱伝導性の優れた液体、例えばシリコンオイル35を満たしている。この方法によれば、光導波路33の表面に凸部33aがあってもヒータ34と点接触にならず、ヒータ34の熱が光路33bへ充分伝達される。

また、光導波路における光分岐部の数が3個以上となっても基本的には前述した2個の場合と同様な方法で各変調度 ϕ_n ($n=1, 2, 3, \dots$) を求めることができる。

第8図は多数の光分岐部を有する光導波路に対

- 21 -

- 22 -

応したヒータ装置による位相変調のようすを示す。即ち、図中、36は交流駆動可能な $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ のヒータであり、一枚の基板37上に多数、マトリクス状にそれぞれ独立に配置されている。使用に際しては装置全体を光導波路38の表面に密着させ、任意のヒータ（図示例では斜線を施した部分）に交流信号源39-1, 39-2, 39-3……から交流信号を供給することにより、光導波路38内の任意の光路を伝搬する光に任意の周波数で位相変調を加えることができる。

（発明の効果）

以上説明したように本発明方法によれば、被測定光導波路の各光路を伝搬する光にそれぞれ異なる周波数で変調を加え、これを参照光と干渉させて各ビート成分の振幅もしくは強度を測定し、各光路を伝搬する光の強度を算出して光分岐部の分岐比を求めるようになしたため、光分岐部間の光路長が等しいような光導波路であってもその分岐比を正確に測定することができる。

また、本発明装置によれば、コヒーレントな光

を発生する光源と、光を干渉させる光学系と、光導波路内の各光路を伝搬する光に変調を加える複数の光変調手段と、干渉光中の各ビート成分の振幅もしくは強度を測定する測定手段とにより構成されるため、特別な装置や回路を必要とせず、しかも光導波路自体を破壊することなくその分岐比を測定することができる。

また、参照光に変調を加える光変調手段を備えた装置によれば、信号検波周波数域を高くすることができ、よりS/N比の良い測定が可能となる。

また、光変調手段として交流駆動可能なヒータを光導波路に密着させて取付けた装置によれば、その熱により該光路を伸縮させることができ、伝搬する光に位相変調を加えることができる。

また、光変調手段として多数のヒータをマトリクス状に配置したヒータ装置を光導波路に密着させて取付けた装置によれば、任意のヒータを駆動させるのみで任意の光路を伸縮させ、その伝搬光に位相変調を加えることができ、多数の光分岐部を備えた光導波路に対する測定が容易となる。

— 23 —

また、ヒータ又はヒータ装置を熱伝導性の良好な液体を介して光導波路に取付けた装置によれば、光導波路の表面に凹凸があってもヒータ又はヒータ装置の熱を効率良く光導波路の光路に伝達させることができる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の光分岐比測定方法の一実施例を示す装置構成図、第2図(a)(b)(c)は従来の光分岐比測定方法の説明図、第3図は従来の他の光分岐比測定方法の説明図、第4図は第1図中の被測定光導波路の詳細を示す構成図、第5図は光導波路の光路とヒータとの位置関係を示す断面図、第6図は干渉光のスペクトルの実測結果の一例を示すグラフ、第7図は表面に凹凸を有する光導波路に対するヒータの取付け方法を示す断面図、第8図は多数の光分岐部を有する光導波路に対応したヒータ装置による位相変調のようすを示す構成図である。

16…光源、17, 18, 19, 20, 21…光ファイバ、22, 23…光カプラ、24…被

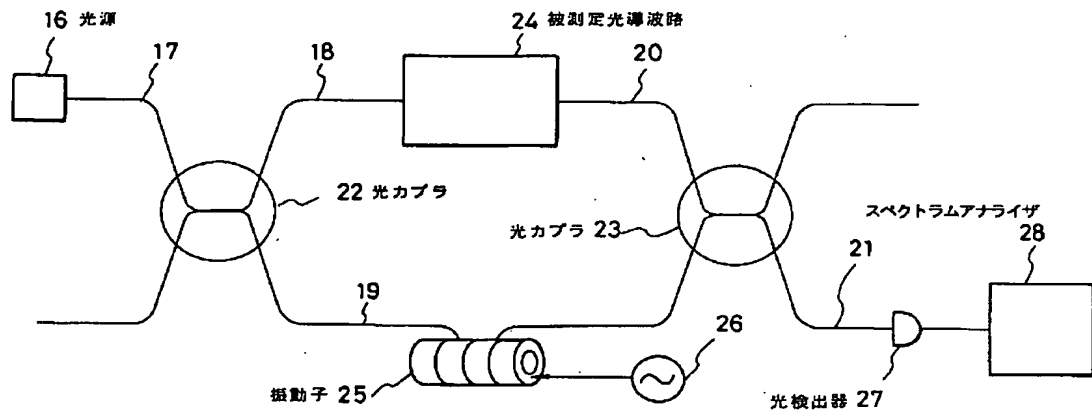
— 25 —

— 24 —

測定光導波路、25…振動子、26, 31, 32…交流信号源、27…光検出器、28…スペクトラムアナライザ、29, 30, 36…ヒータ、35…シリコンオイル、37…ヒータ装置。

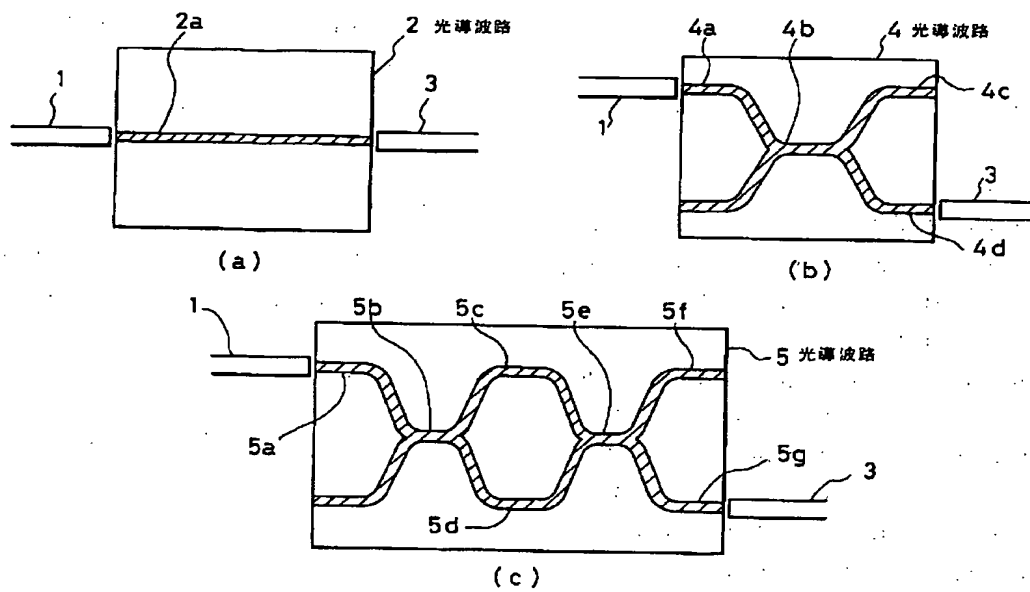
特許出願人 日本電信電話株式会社
代理人 弁理士 吉 田 精 孝

— 26 —



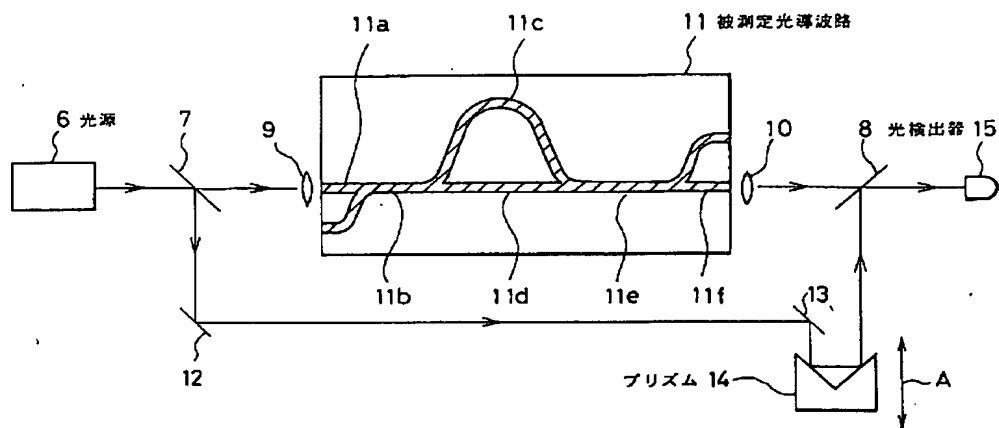
本発明の光分岐比測定方法の一実施例を示す図

第 1 図



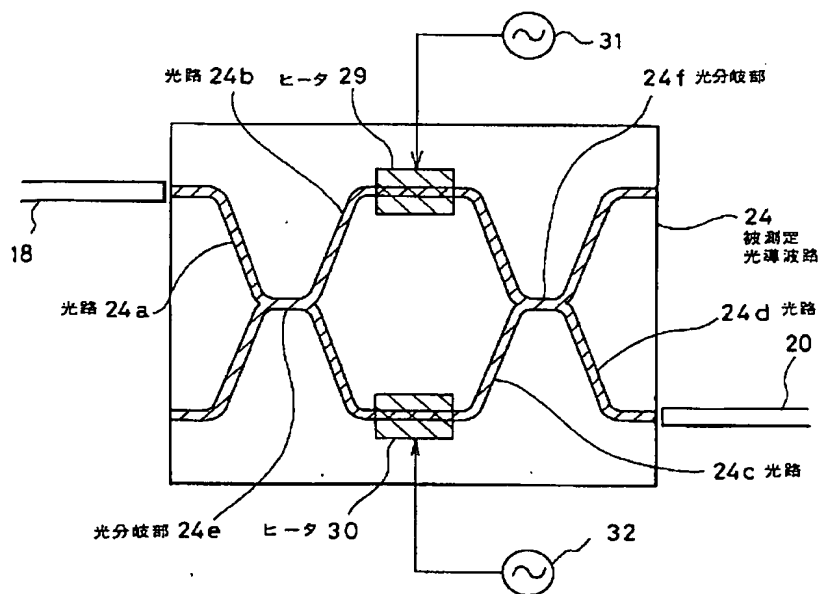
従来の光分岐比測定方法の説明図

第 2 図



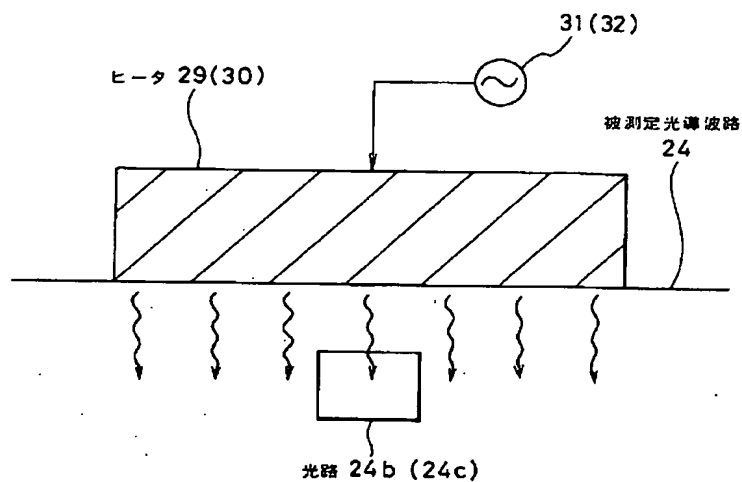
従来の他の光分岐比測定方法の説明図

第 3 図



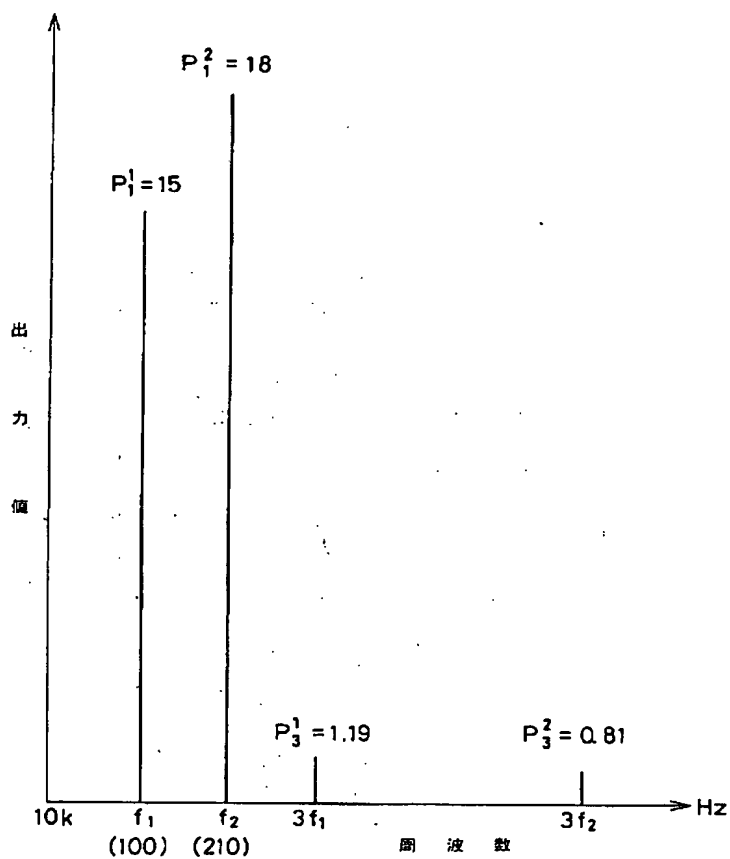
被測定光導波路の詳細を示す構成図

第 4 図



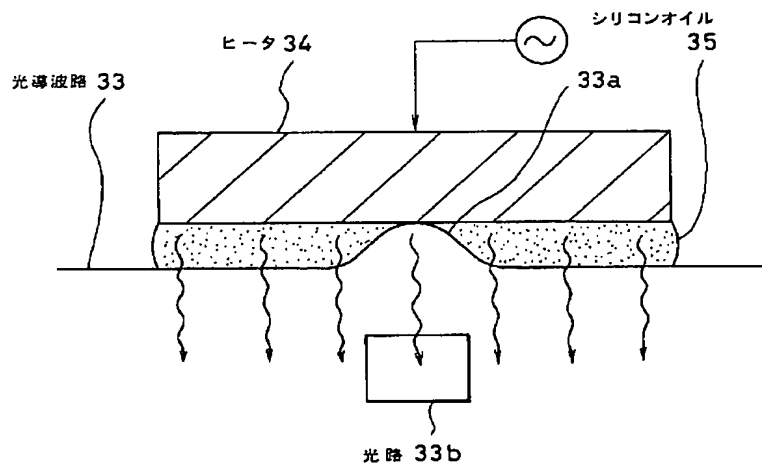
光導波路の光路とヒータとの位置関係を示す図

第 5 図



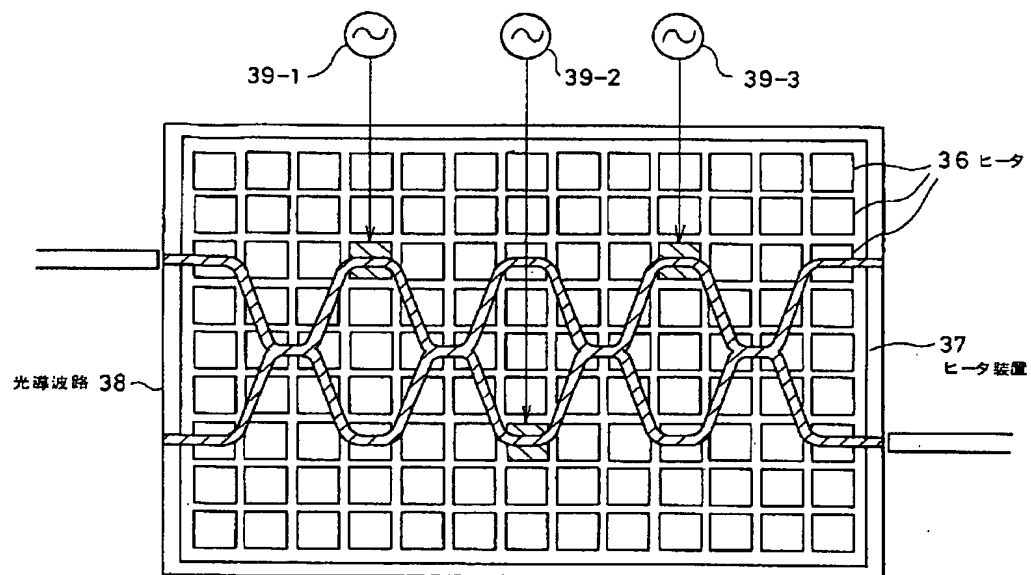
干渉光のスペクトルの実測結果を示すグラフ

第 6 図



表面に凹凸を有する光導波路へのヒータの取付けを示す図

第 7 図



ヒータ装置による位相変調のようすを示す図

第 8 図